VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

Методические указания к курсовой работе
по курсу "Теплотехнологические комплексы и
безотходные системы сельскохозяйственных производств"
для студентов специальности 101600 направление 140106



Тамбов
Издательство ТГТУ
2006

УДК 621.1.016
ББК z361-045я73-5
Б-959

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор ТГТУ
Г.С. Боронин

Составитель

В.И. Быченок

Б-959 Расчет водяного экономайзера : методические указания к курсовой работе / Сост. В.И. Быченок. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 16 с. – 100 экз.

Даны задания и краткие методические указания по их выполнению к курсовой работе по курсу "Теплотехнологические комплексы и безотходные системы сельскохозяйственных производств" для студентов 3, 4 курсов дневного и заочного обучения направления 650800 – Теплоэнергетика специальности 140106.

УДК 621.1.016
ББК z361-045я73-5

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет", 2006

Учебное издание

РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

Методические указания

Составитель
Быченок Вячеслав Иванович

Редактор З.Г. Чернова

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 10.05.2006
Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Гарнитура Times New Roman.
0,9 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Заказ № 247

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Проблемой всемирной экономики является эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. Эта проблема решается путем проектирования энергосберегающих теплоэнергетических установок и внедрения безотходных комплексов. Знание основ рационального проектирования, методик инженерного расчета и особенностей принятия проектных решений в вопросах получения тепла, теплоиспользования и теплоснабжения являются очень важными для будущего специалиста теплоэнергетика.

***Цель работы*:** приобрести практические навыки проектирования аппаратов для использования вторичных энергоресурсов при производстве тепловой энергии.

***Задание*:** рассчитать и спроектировать водоводяной экономайзер для использования тепла уходящих из котла продуктов сгорания.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Рассчетно-графическая работа включает пояснительную записку на листах формата А-4 объемом 10 – 15 страниц и чертеж экономайзера на листе формата А-2. Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями производственного стандарта ТГТУ. Она содержит: титульный лист, задание, содержание, текст пояснительной записки и список использованной литературы. Все расчеты необходимо выполнять в международной системе измерения физических величин (система СИ). Если используются справочные данные в другой системе измерения, то их необходимо перевести в систему СИ. Расчеты приводятся в развернутом виде, записывая расчетную формулу, численные значения всех переменных и результатов расчета по ГОСТу 732–81. Для величин, имеющих размерность, необходимо ее указывать.

Чертеж экономайзера выполняется в соответствии с требованиями ГОСТа. Для выполнения чертежа можно использовать компьютер.

ЗАДАНИЕ

Рассчитать поверхность экономайзера для парового котла теплопроизводительностью Q_k, МВт. Давление насыщенного пара $P_{пп}$ = 10 бар; топливо – по варианту. Непрерывная продувка составляет P = 3...4 %. Влагосодержание природного газа при t = 10 °С принимаем $d_г$ = 10 г/м^3. Значение коэффициента избытка воздуха в топке $\alpha_т$ принимаем в соответствии с видом топлива. Котел оборудован индивидуальным водяным экономайзером системы ВТИ. Вариант задания определяется преподавателем согласно табл. 1.

1 Варианты заданий

1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7
3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7
4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7
5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6	5-7
6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6	6-7
7-1	7-2	7-3	7-4	7-5	7-6	7-7
8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	8-6	8-7
9-1	9-2	9-3	9-4	9-5	9-6	9-7
10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6	10-7

В табл. 1 показаны: первая цифра – вид топлива (табл. 2); вторая цифра – теплопроизводительность (табл. 3).

2 Вид топлива по объему и массе

№ варианта	Район добычи газа	Рабочий состав природных газов. Состав газа в % по объему								Относительная плотность по воздуху ρ, кг/м^3	Теплота сгорания $Q^р_н$ кДж/м^3
		CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	CO_2	H_2S	N_2+ редкие газы		
1	Саратовская область	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	–	0,5	0,773	37967
2	Волгоградская область	96,6	0,6	0,1	0,1	–	0,2	–	2,4	0,740	32776
3	Красно-	87,0	5,9	1,5	1,0	0,4	1,2	–	3,0	0,835	35455

	дарский край									
4	Ставропольский край	98,3	0,5	0,2	0,1	–	0,1	–	0,9	0,732	33362
5	Тюменская область	95,1	1,1	0,3	0,1	0,1	0,4	–	3,0	0,737	35288

Продолжение табл. 2

Состав рабочей массы жидкого и твердого топлива									
№ варианта	Топливо	Рабочий состав топлива в % по массе							$Q^{р}_{н}$, кДж/кг
		$C^{р}$	$H^{р}$	$O^{р}$	$N^{р}$	$S^{р}_{N}$	$A^{р}$	$W^{р}$	
6	Мазут малосернистый	85,5	11,2	0,4	0,4	2,5	0,15	2	40395
7	Мазут высокосернистый	85,9	10,2	0,5	0,4	3,0	0,3	1,0	39767
8	Уголь "Подмосковный Б-3-Р"	29,1	2,2	8,7	0,6	7,9	23,5	33	10507
9	Уголь "Челябинск Б-3-Р"	41,8	3	11,1	1	1,2	24,9	17	15781
10	Уголь "Приморский край 1-Г-Р"	54,7	3,4	5,6	0,9	0,5	27,9	7	21055

3 Теплопроизводительность водогрейного котла, МВт

№	1	2	3	4	5	6	7
Q, МВт	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПОВЕРХНОСТИ ЭКОНОМАЙЗЕРА

1 Определяем располагаемую теплоту сгорания рабочей массы топлива $Q^{р}_{р}$ на 1 кг для твердого (жидкого) топлива (кДж/кг) или на 1 м^3 газообразного топлива (кДж/кг) по формулам:

$$Q^{р}_{р} = Q^{р}_{н} + Q_{тл} + Q_{в.вн} + Q_{ф} - Q_{к}\,; \tag{1}$$

$$Q^{р}_{р} = Q^{с}_{н} + Q_{тл} + Q_{в.вн} + Q_{ф}\,, \tag{2}$$

где $Q^{р}_{н}$ и $Q^{с}_{н}$ – низшая теплота сгорания рабочей массы твердого или жидкого топлива или сухой массы газообразного топлива (кДж/кг или кДж/м^3); $Q_{тл}$ – физическая теплота топлива, (кДж/кг или кДж/м^3); $Q_{в.вн}$ – теплота, вносимая в топку с воздухом (кДж/кг или кДж/м^3); $Q_{ф}$ – теплота, вносимая в топку с паровым дутьем (кДж/кг или кДж/м^3); $Q_{к}$ – теплота, затраченная на разложение карбонатов при сжигании сланцев, кДж/кг.

2 Составляем уравнение теплового баланса котельного агрегата

$$Q^{р}_{р} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_6 \tag{3}$$

или в процентах от располагаемой теплоты топлива

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100\ \%, \tag{4}$$

где $q_1 = (Q_1/Q^{р}_{р})\,100$ – теплота, полезно использованная в котельном агрегате; q_2 – потери теплоты с уходящими газами; q_3 – потери теплоты с уходящими газами; q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания; q_5 – потери теплоты в окружающую среду; q_6 – потери теплоты с физической теплотой шлака.

Принимаем: температуру воздуха в котельной $t_{в}$ = 30 °С; q_3 = 2…3 % для углей, q_3 = 1…2 % для мазута и q_3 = 1…1,5 % для газа, q_4 = 7…9 % для углей. Величину q_5 определяем по графику на рис. 1П. Значения $q_6 = 0$ и $q_{карб} = 0$. Потери теплоты с уходящими газами q_2 рассчитываем по формуле

$$g_2 = (Q_2/Q^{р}_{р})\,100 = (J_{ух} - \alpha_{ух} J^{0}_{в})\,(100 - g_4)/Q^{р}_{р}\,, \tag{5}$$

где $J_{ух}$ – энтальпия уходящих продуктов сгорания; $J^{0}_{в}$ – энтальпия холодного воздуха (кДж/кг); $\alpha_{ух}$ – коэффициент избытка воздуха на выходе из последнего газохода. Соответствующие значения коэффициента избытка воздуха на выходе из котла будут $\alpha_{ух} = \alpha_{т} + 0{,}1$. Коэффициент избытка воздуха в топке определяем в зависимости от вида топлива: для углей $\alpha_{т}$ = 1,45, для мазута $\alpha_{т}$ = 1,1…1,2, для газа $\alpha_{т}$ = 1,1…1,2.

3 Определяем коэффициент полезного действия котла (брутто) без экономайзера:

$$\eta^{бр}_{ка} = q_1 100\,. \tag{6}$$

4 Определяем натуральный и расчетный расход топлива, кг/с:

$$B = \frac{Q_{ка}}{Q_р^р \eta_k^{γр}}, \; B_р = B\left(1 - \frac{q_4}{100}\right). \qquad (7)$$

5 Определяем количество тепла, отданное уходящими газами без экономайзера, кДж/с:

$$Q_{ух} = B_р \varphi (J'_{ух} - J''_{ух} + \Delta J_в), \qquad (8)$$

где $\varphi = 1 - \frac{q_5}{100}$, $J'_{ух}$, $J''_{ух}$ – энтальпия газов, уходящих из котла, и в последнем газоходе (при $\alpha_т$ и $\alpha_{ух} = \alpha_т + 0{,}1$); $\Delta J_в$ – изменение энтальпии воздуха.

$$J'_{ух} = J_r^0 + (\alpha'_т - 1) J_в^0 \; J''_{ух} = J_r^0 + (\alpha'_{ухx} - 1) J_в^0, \qquad (9)$$

где

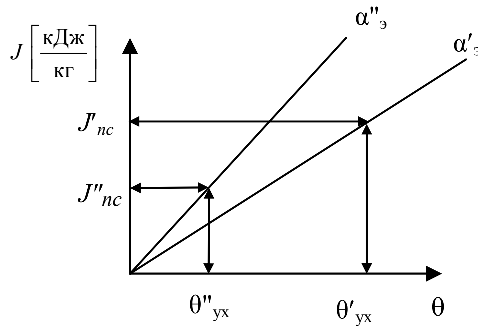
$$J_r^0 = V_{RO_2} (C\theta)_{CO_2} + V_{N_2}^0 (C\theta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (C\theta)_{H_2O}; \qquad (10)$$

$$\Delta J_в^0 = \Delta \alpha_в V^0 (C\theta_в), \; \Delta\alpha_в = 0{,}1. \qquad (11)$$

6 Определяем количество тепла, отданное уходящими газами экономайзеру.

Задаемся коэффициентами избытка воздуха перед экономайзером $\alpha'_э = \alpha_{ух} + 0{,}1$ и за экономайзером $\alpha''_э = \alpha'_э + 0{,}1$.

Для нахождения энтальпии продуктов сгорания при установке экономайзера строим вспомогательный график J – θ при θ = 100, θ = 500, θ = 1000 и $\alpha'_э$, $\alpha''_э$



Для расчета энтальпии перед входом в экономайзер задаемся температурой продуктов сгорания $\theta'_{ух}$ = 600 °С.

Для расчета энтальпии продуктов сгорания на выходе из экономайзера задаемся температурой уходящих газов: для малосернистого топлива $\theta''_{ух}$ = 120 °С; для сернистого мазута $\theta''_{ух}$ = 160 °С; для остальных топлив $\theta''_{ух}$ = 140 °С.

7 Определяем поверхность экономайзера из уравнения теплового баланса $Q_э = Q_в$, т.е.

$$Q_э = \varphi(J'_{ух} - J''_{ух} + \Delta\alpha_э V^0) = Q_в = (k_э F_{эк} \Delta t_{ср})/B_р, \qquad (12)$$

где $Q_в = k_э F_{эк} \Delta t_{ср}$ – количество тепла, полученное водой в экономайзере, кДж/с. Необходимая поверхность экономайзера

$$F_{эк} = \frac{Q_э B_р}{k_э \Delta t_{ср}}, \text{ м}^2. \qquad (13)$$

Коэффициент теплопередачи $k_э$ (кВт/м^2 К) взять по графику на рис. 2П.

Для расчета среднего температурного напора $\Delta t_{ср}$ задаемся температурой воды на входе в экономайзер $t'_в = t_р + 5$, где $t_р$ – температура точки росы: для природного газа $t_р$ = 60 °С, для бурого угля $t_р$ = 50 °С, для мазута $t_р$ = 40 °С.

Температуру воды на выходе из экономайзера принимаем $t'_в = t_н - 40°$, где температура насыщения при $t_н$ = 179,88 °С при P = 10 бар. Тогда средний температурный напор будет

$$\Delta t_{cp} = \frac{\theta'_{ух} - \theta''_{ух}}{\ln \dfrac{\theta'_{ух} - t_{ср}}{\theta''_{ух} - t_{ср}}}, \text{ где } t_{ср} = \frac{t'_в - t''_в}{2}. \qquad (14)$$

9 Определить общее количество устанавливаемых труб

$$n = \frac{F_{эк}}{F_{тр}}. \qquad (15)$$

Поверхность нагрева стандартной чугунной трубы $F_{тр}$ взять из табл. 1П.

10 Определить количество воды, нагреваемой в экономайзере, кг/с

$$G_{\text{вж}} = \frac{Q_{\text{э}}}{c_{\text{в}}\,(t''_{\text{в}} - t'_{\text{в}})}\,. \tag{16}$$

11 Определяем коэффициент утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР).

$$\delta = Q_{\text{э}}/Q_{\text{ух}}. \tag{17}$$

12 Определить увеличение КПД котла за счет установки экономайзера.

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = \left(q_1 + \frac{Q_{\text{э}}}{Q_{\text{р}}^{\text{р}}}\right)100\,. \tag{18}$$

12 Сравнить значение рассчитанного коэффициента полезного действия котельного агрегата с требуемым по ГОСТ 30738–2001.

Газообразное и легкое жидкое топливо $\eta = 88 + \lg Q_{\text{ном}}$.

Тяжелое жидкое топливо $\eta = 77 + 3\lg Q_{\text{ном}}$.

Твердое топливо, класс 1 $\eta = 73 + 3\lg Q_{\text{ном}}$.

Твердое топливо, класс 2 $\eta = 62 + 4\lg Q_{\text{ном}}$.

Твердое топливо, класс 2 $\eta = 49 + 5\lg Q_{\text{ном}}$.

13 Чертеж экономайзера выполнить согласно рис. 1 и 2.

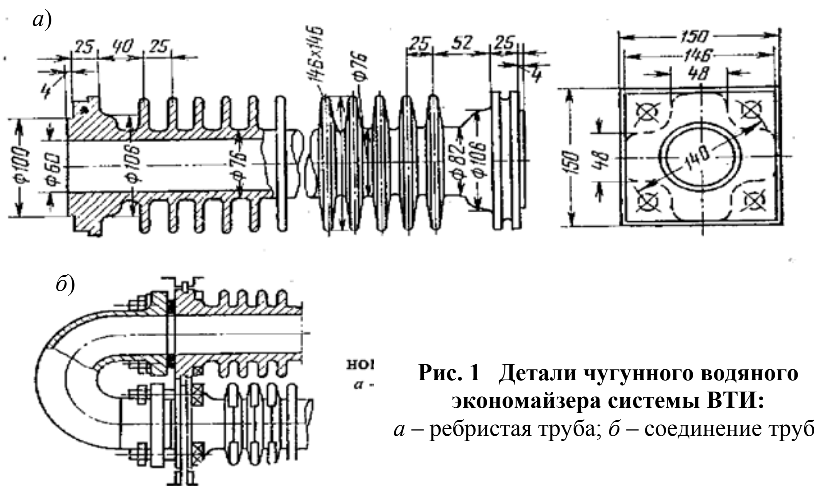


Рис. 1 Детали чугунного водяного экономайзера системы ВТИ:
а – ребристая труба; *б* – соединение труб

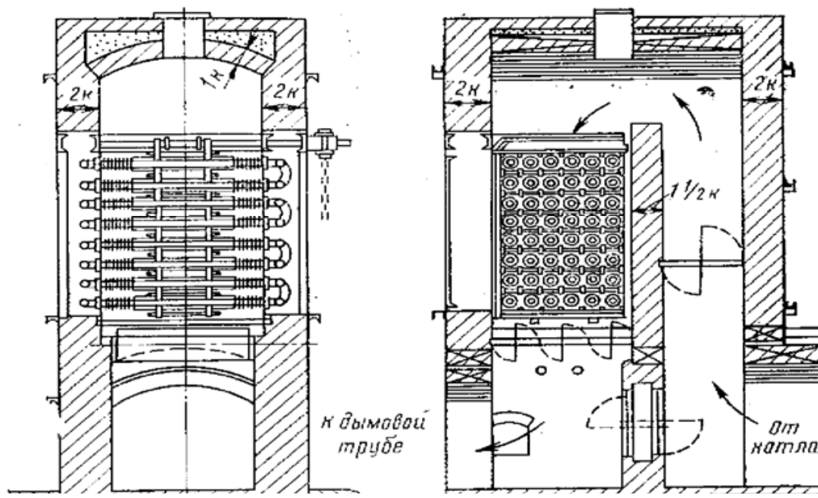


Рис. 2 Компоновка чугунного водяного экономайзера в кирпичной обмуровке

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Объем воздуха. Объем воздуха, необходимый для сгорания топлива, а так же объем и масса продуктов сгорания, определяются на 1 кг твердого или жидкого топлива. Для газообразного топлива эти значения определяются на 1 м^3 сухого газообразного топлива при нормальных условиях (р = 760 мм рт.ст.).

Теоретический объем сухого воздуха (при коэффициенте избытка воздуха в топке $\alpha_т = 1$) в м^3/кг, необходимый для полного сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива, определяется по формуле

$$V^0 = 0{,}089C^р + 0{,}033(S_л^р - O^р).$$

Теоретический объем воздуха (м^3/м^3), необходимый для полного сгорания 1 м^3 сухого газообразного топлива, определяется по формуле

$$V^0 = 0{,}0478\,[0{,}5\,(CO + H_2) + 1{,}5H_2S + 2CH_4 + \\ + \Sigma\,(m + n/4)\,C_mH_n - O_2].$$

В формуле (3) содержание элементов топлива выражается в процентах на 1 кг массы топлива, а в (4) содержание горючих газов CO, H_2, H_28, CH_4 и т.д. – в процентах по объему.

Для сгорания смеси двух твердых, жидких или газообразных топлив теоретический объем сухого воздуха определяется по формуле

$$V_{см}^0 = b_1V_1^0 + (1 - b_1)V_2^0,$$

где b_1 – массовая доля одного из топлив в смеси.

Действительный объем воздуха (м^3/кг, м^3/м^3), поступивший в топку, определяется по формуле

$$V_д = \alpha_т V^0,$$

где $\alpha_т$ – действительный коэффициент избытка воздуха в топке.

Состав и объем продуктов сгорания топлива. При полном сгорании топлива продукты сгорания содержат газы: CO_2, SO_2, N_2, O_2 и пары воды H_2O:

$$CO_2 + SO_2 + N_2 + O_2 + H_2O = 100\ \%.$$

Полный объем продуктов сгорания V_r (м^3/кг) представляет собой сумму объемов сухих газов $V_{с.г}$ и водяных паров V_{H_2O}

$$V_r = V_{с.г} + V_{H_2O},$$

при этом

$$V_{с.г} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2},$$

где $V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2}$ – объем трехатомных газов, м^3/кг; $V_{N_2} + V_{O_2}$ – объем двухатомных газов, м^3/кг. Для твердых и жидких топлив (кроме сланцев) теоретические объемы (м/кг) продуктов полного сгорания при $\alpha_т = 1$ определяются по формулам:

- объем двухатомных газов

$$V_{N_2}^0 = 0{,}79V^0 + 0{,}8N^р/100;$$

- объем трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0{,}0187(C^р + 0{,}375S_л^р);$$

- объем сухих газов

$$V_{с.г}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 = 0{,}0187(C^р + 0{,}375S_л^р) + 0{,}79V^0 + 0{,}8N^р/100;$$

- объем водяных паров

$$V_{H_2O} = 0{,}0124(9H^р + W^р) + 0{,}0161V^0;$$

- полный объем продуктов сгорания

$$V_г^0 = V_{с.г}^0 + V_{H_2O}^0 = 0{,}0187(C^р + 0{,}375S_л^р) + 0{,}79V^0 + 0{,}8N^р/100 + \\ + 0{,}0124(9H^р + W^р) + 0{,}0161V^0.$$

Для газообразного топлива теоретические объемы продуктов сгорания (м^3/м^3) при $\alpha_т = 1$ определяются по формулам:

- объем двухатомных газов

$$V_{N_2}^0 = 0{,}79V^0 + N_2/100;$$

- объем трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0{,}01[CO_2 + CO + H_2S + \Sigma mC_mH_n];$$

• объем сухих газов

$$V_{с.г}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 \ ;$$

• объем водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0{,}01[H_2S + H_2 + \Sigma(n/2)C_m H_n + 0{,}124 d_г] + 0{,}0161 V^0 \ ,$$

где $d_г$ – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м^3 сухого газа, г/м^3.

Полный объем продуктов сгорания

$$V_г^0 = V_{с.г.}^0 + V_{H_2O}^0 \, .$$

Для твердых (кроме сланцев), жидких и газообразных топлив объемы продуктов полного сгорания (м^3/кг) при $\alpha_т > 1$ определяются по формулам:

• объем сухих газов

$$V_{с.г} = V_{с.г}^0 + (\alpha_т - 1)V^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_т - 1)V^0 \ ;$$

• объем водяных паров

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0{,}0161 \alpha_т V^0 \, .$$

Содержание CO_2, SO_2 и RO_2 (%) в сухих газах при полном сгорании топлива определяется по формулам:

$$CO_2 = (V_{CO_2} / V_{с.г})\, 100 \ ;$$

$$SO_2 = (V_{SO_2} / V_{с.г})\, 100 \ ;$$

$$RO_2 = (V_{RO_2} / V_{с.г})\, 100 \, .$$

Максимальное содержание (%) трехатомных газов RO_2 в сухих газах при полном сгорании топлива

$$RO_2^{max} = 21/(1+\beta) \ ,$$

где β – характеристика топлива:

• для твердого и жидкого

$$\beta = 2{,}35(H^р - 0{,}126 O^р + 0{,}04 N^р)/(C^р + 0{,}375 S_л^р) \ ;$$

• для газообразного

$$\beta = 0{,}21 \frac{0{,}01 N_2 + 0{,}79 V^0}{V_{RO_2}} - 0{,}79 \ .$$

Содержание (%) азота N_2 и кислорода O_2 в сухих газах при полном сгорании топлива

$$N_2 = 100 - RO_2 - O_2; \ O_2 = 21 - \beta RO_2 - RO_2.$$

Масса продуктов сгорания. Для твердого (кроме сланцев) и жидкого топлива (кг/кг)

$$M_г = 1 - 0{,}01 A^р + 1{,}306 \alpha_т V^0.$$

Для газообразного топлива (кг/м^3)

$$M_г = \rho_{с.г}^с + 0{,}001 d_{г.т} + 1{,}306 \alpha_т V^0 \ ,$$

где $\rho_{с.г}^с$ – плотность сухого газа, кг/м^3; $d_{г.т}$ – содержание влаги в топливе, кг/м^3.

Расчетное содержание (%) золы в топливе с учетом неразложившихся карбонатов

$$A_к^р = A^р + (1 - K)(CO_2)_к^р \, .$$

Для твердых топлив концентрация золы в продуктах сгорания определяется по формуле

$$M_{зл} = A^р \alpha_{ун}/(100\, M_г),$$

где $\alpha_{ун}$ – доля золы топлива, уносимой продуктами сгорания.

Энтальпия продуктов сгорания (кДж/кг, кДж/м^3) 1 кг твердого, жидкого или 1 м^3 газообразного топлива определяется как сумма энтальпий продуктов сгорания $I_г^0$ при $\alpha_т = 1$, избыточного воздуха $I_в^0$ ($\alpha_т - 1$) и золы $I_з$ (если $A_{пр.ун} > 1{,}43$ кг · %/МДж), т.е.

$$I_г = I_г^0 + (\alpha_т - 1)\, I_в^0 + I_з.$$

Энтальпия продуктов сгорания (кДж/кг, кДж/м^3) при $\alpha_т = 1$ и температуре газов θ, °С определяется по формуле

$$I_r^0 = V_{RO_2}(c\theta)_{CO_2} + V^0{}_{N_2}(c\theta)_{N_2} + V^0{}_{H_2O}(c\theta)_{H_2O} \, ,$$

где V_{RO_2}, $V^0_{N_2}(C\theta)_{N_2}$, $V^0_{H_2O}$ – теоретические объемы продуктов сгорания топлива, м^3/кг (м^3/м^3); $(c\theta)_{CO_2}$, $(c\theta)_{N_2}$, $(c\theta)_{H_2O}$ – энтальпия углекислоты азота и водяных паров соответственно, кДж/м^3.

Энтальпия воздуха (кДж/кг, кДж/м^3) при $\alpha_т = 1$ и температуре θ, °С определяется по формуле

$$I^0_в = V^0(c\theta)_в ,$$

где V^0 – теоретический объем воздуха, м^3/кг (м^3/м^3); $(c\theta)_в$ – энтальпия воздуха, кДж/м^3.

Энтальпия золы (кДж/кг)

$$I_з = \frac{A^р a_{ун}}{100}(c\theta)_з ,$$

где $a_{ун}$ – доля золы топлива, уносимой продуктами сгорания; $(c\theta)_з$ – энтальпия золы, кДж/кг.

Значения энтальпий продуктов полного сгорания топлива, воздуха и золы приведены в [7].

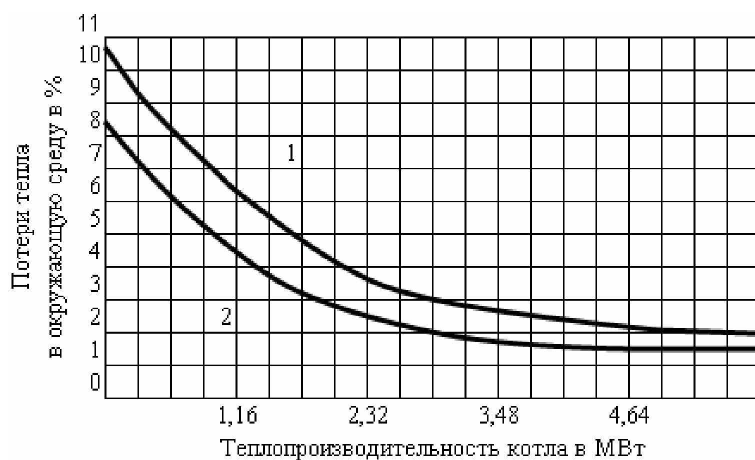


Рис. 1П Потери в окружающую среду q_5:
1 – с экономайзером; *2* – без экономайзера

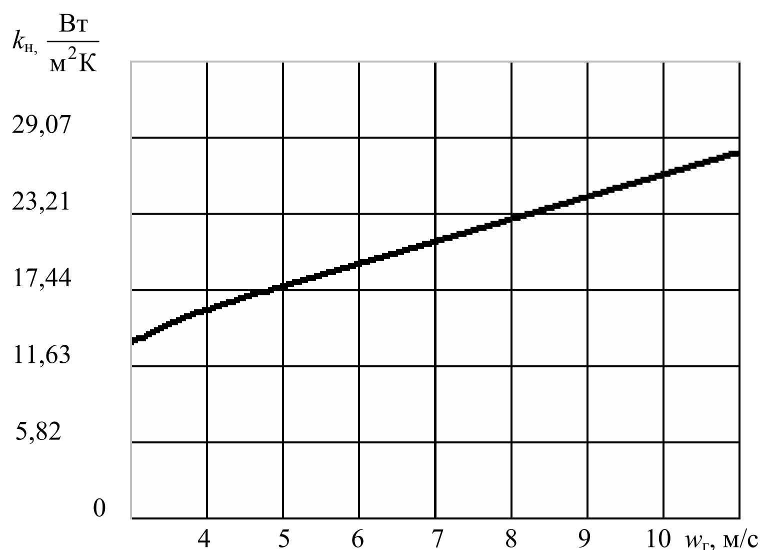


Рис. 2П График для определения коэффициента теплопередачи $k_н$ чугунных экономайзеров ВТИ. Действительный $k = k_н C_w$

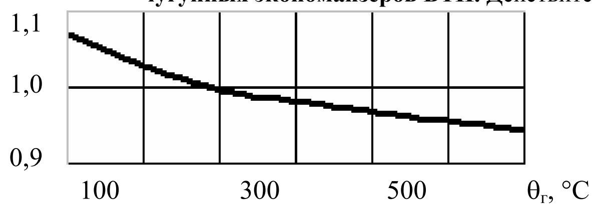


Рис. 3П Зависимость C_w от $\theta_г = (\theta' + \theta'')/2$

1П Основные данные ребристых труб экономайзера системы ВТИ

Длина трубы, мм	Число ребер на трубе	Масса одной трубы, кг	Поверхность нагрева с газовой стороны, м²	Живое сечение для прохода газа, м²
1500	55	52,2	2,18	0,088
2000	75	67,9	2,95	0,12
2500	95	83,6	3,72	0,152
3000	115	99,3	4,49	0,184

2П Средние значения объемной теплоемкости сухих газов, водяных паров и влажного воздуха в зависимости от температуры

t, град	C_{R_2}	C_{RO_2}	C_{H_2O}	Влажный воздух $C_{в.в}$
0	0,3088	0,3805	0,3569	0,315
100	0,3096	0,4092	0,3596	0,3163
200	0,3106	0,429	0,3635	0,3181
300	0,3122	0,4469	0,3684	0,3206
400	0,3146	0,4608	0,3739	0,3235
500	0,3173	0,4769	0,3796	0,3268
600	0,3203	0,4895	0,3856	0,3303
700	0,3235	0,5008	0,392	0,3338
800	0,3266	0,511	0,3985	0,3371
900	0,3297	0,5204	0,405	0,3403
1000	0,3325	0,5288	0,4115	0,3433
1100	0,3354	0,5363	0,418	0,3463
1200	0,338	0,5433	0,4244	0,349
1300	0,3406	0,5495	0,4306	0,3517
1400	0,343	0,5553	0,4367	0,3542
1500	0,3453	0,5606	0,4425	0,3565
1600	0,3473	0,5655	0,4482	0,3587
1700	0,3493	0,5701	0,4537	0,3607
1800	0,3511	0,5744	0,459	0,3625
1900	0,3529	0,5783	0,464	0,3644
2000	0,3545	0,582	0,4689	0,3661

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Теплотехника : учебник для вузов. – 2-е изд. / под ред. А.П. Баскакова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

2 Теплотехника : учебник для вузов / под ред. В.И. Крутова. – М. : Машиностроение, 1986. – 432 с.

3 ГОСТ 30735–2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт Общие технические условия. – Принят 2001–01–11. – Минск : Изд-во стандартов, 2002. – 15 с.

4 Безотходная технология в промышленности / Б.Н. Ласкорин, Б.В. Громов, А.П. Цыганков, В.Н. Сенин. – М. : Стройиздат, 1986. – 160 с.

5 Левин, М.С. Использование вторичного пара и конденсата / М.С. Левин. – М. : Энергия, 1971. – 144 с.

6 Панкратов, Г.П. Сборник задач по теплотехнике / Г.П. Панкратов. – М. : Высшая школа, 1995. – 238 с.